

WEEE 回收条例有效实施问题研究^①

计国君, 黄位旺

(厦门大学管理学院, 厦门 361005)

摘要: 分析了现行回收条例的要素和流程, 采用两阶段序贯决策博弈模型比较分析 3 种不同回收处理模式下的利益相关主体的经济行为; 以社会福利最大化为目标, 研究了回收网络体系的建设、回收率的设定、回收产品目录的分类、处理行为的监管激励等问题. 结论表明: 制造商、处理商、消费者等相关主体对 3 种回收模式的偏好不一致, 而制造商自行回收处理模式所带来的社会福利最大; 最有效率的回收网络体系应围绕制造商单独回收责任展开; 回收率的确定和回收产品目录的分类需综合考虑产品的环境影响、回收处理的成本/收益、处理行业和制造行业的市场结构; 监督激励决策矩阵对生产者责任组织来说, 是权衡环保收益和社会福利的一种有效工具.

关键词: 回收条例; 闭环供应链; 生产者延伸责任; 两阶段序贯决策博弈

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2012)05-0001-09

0 引 言

目前我国已进入家电报废高峰期, 不仅废旧家电的数量巨大, 而且其种类在增加和变化. 电子废弃物(WEEE), 一方面含有大量有毒有害物质, 如不进行正规的回收处理则会造成严重的环境污染; 另一方面又具有很高的再生利用经济价值, 如能进行合理的回收处理, 可有效减少对自然资源的需求. 因此, 近年来消费者和政府一直在迫使厂商降低其产品对环境的影响^[1]. 为规范回收处理行为, 促进资源循环利用和保护环境, 我国在 2009 年 2 月 25 日公布了《废弃电器电子产品回收处理管理条例》(以下简称回收条例), 并于 2011 年 1 月 1 日起施行. 该条例立足于我国国情, 并借鉴国外“生产者延伸责任制”(extended producer responsibility, EPR) 的做法, 其目的是:

- 1) 激励制造商进行环保设计(design for environment, DfE), 如提高产品的可回收和重复使用性;

- 2) 促使制造商回收处理 WEEE, 减少 WEEE 对环境的影响^[2-5]. 然而制造商并非产品环境责任的唯一承担者, EPR 及回收条例的有效实施必须以政府、处理商、供应商、消费者等各方的共同参与和诚信合作为前提^[6]. 该条例从根本上表明了一种趋势——经济与环境须协调发展^[7], 同时也是促进经济-社会-环境可持续发展的重要举措. 为此, 系统分析目前 WEEE 回收处理模式存在的问题与不足, 借鉴发达国家 EPR 制度实施方面的经验, 促进我国回收条例的有效实施, 具有重要的理论和现实意义.

目前, 我国 WEEE 的回收逆向物流确实存在诸如处理技术落后、宣传不够、认识不足等问题. WEEE 回收处理大部分由非正式部门处理, 既浪费资源也污染环境且存在职业安全等问题. 与此同时, 因无足够的 WEEE 回收, 导致“等米待炊”的正式处理企业处于亏损状态, 必须制定和实施有效的立法来规范 WEEE 处理行业^[8-9]. 已有文

① 收稿日期: 2010-03-28; 修订日期: 2010-07-19.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971111); 国家青年科学基金资助项目(70802052); 福建省自然科学基金资助项目(2009J01313).

作者简介: 计国君(1964—), 男, 安徽合肥人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: jiking@xmu.edu.cn

献对回收条例所涉及的相关利益主体的研究,或从消费者的角度,揭示了用户参与废旧家电回收行为意向的形成机制^[10];或从制造商的角度,系统地揭示了家电企业的回收行为特征^[11];或从生产者责任组织(producer responsibility organizations, PROs)的视角,阐述其重要作用和功能(如 Mayers^[12]以欧洲 SONY 电脑娱乐为案例研究了欧盟 WEEE 条例下 PROs 的作用);或站在处理商的角度,根据废旧电脑逆向物流的流程建立成本-效益模型,经实证分析得出在无法律支持的前提下其效益甚微,应尽快促进循环经济立法并实施^[13];或站在政府的立场,研究环境补贴政策和决策环境监督水平^[14],以及探讨政府对企业再制造补贴合同^[15].与上述文献不同,本文将诸要素纳入回收条例体系下来研究,从而获得对相关利益主体的整体认识.

田军和冯耕中^[16]从定性的角度分析了我国在 WEEE 回收处理管理方面存在的问题与不足,提出了在法律法规制度建设、社会回收网络体系建设、社会化监管和产业发展激励等方面的政策措施与管理机制.在数量模型的研究方面, Savaskan 等^[17]最早从制造商的决策出发,建立定量模型探讨 3 种逆向物流运作模式(零售商回收、第 3 方回收、制造商回收)及其最优决策的基本性质;黄祖庆等^[18]将直线型再制造闭环供应链分为 5 种不同的决策结构,研究该供应链在不同决策结构下的收益以及与集成式“超组织”结构相比的效率损失;易余胤^[19]则把逆向物流和正向物流结合起来,在制造商领导、零售商领导以及市场无领导者 3 种力量结构下建立再制造闭环供应链博弈模型,研究渠道成员的市场力量对回收率、均衡价格、均衡利润和渠道总利润的影响.与上述文献不同的是, Subramanian 等^[20]研究在回收条例约束下,供应链如何协调才可以导致更好 DfE 的可再制造的产品; Atasu 等^[21]研究和比较两种生产者责任模式对制造商产品再利用设计的影响和搭便车的现象,认为单独模式比集体模式更有激励促进制造商设计可再利用产品 Toyasaki 等^[22]基于制造行业和处理行业特点,运用两阶段博弈模型(正向制造商、逆向处理商)分析委托处理的两种回收模式(单独回收和集体回收)对利益相关者的不同影响,且认为 PROs 对回收系统来说至关

重要,但忽略了制造商自行处理的场景. Jacobs^[23]和 Atasu 等^[24]以社会福利最大化为原则来平衡经济和环境的影响,以确保条例实施的公平性,但缺乏对回收、处理模式的比较分析.

基于以上文献剖析,本文从现行回收条例出发,采用两阶段(正向制造商、逆向处理商)序贯决策博弈模型分析 3 种不同的回收处理模式(集体回收委托处理、单独回收委托处理及制造商自行回收处理)对各相关利益主体的经济行为的影响,综合环境成本因素,以社会福利最大化为原则,研究回收网络体系的建设、回收水平的设定、回收产品目录的分类、处理行为的监管与激励等问题.

1 模型的设定和说明

近几年,我国指定青岛新天地环保有限公司等 4 家企业进行回收处理试点.从试点效果可见:1)初步探索了一条适合国情的废弃回收处理产业化之路,为我国废弃回收处理产业制定相关标准提供了支持;2)形成类似 PROs 的管理组织;3)建立国内 WEEE 回收网络和体系^[8].

图 1 清晰地描述了回收条例的元素和流程.

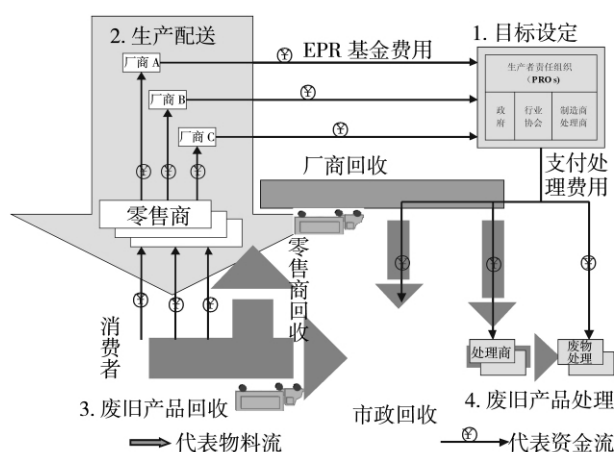


图 1 WEEE 回收条例元素一览

Fig. 1 A glance of WEEE take-back directive elements

本文的决策顺序为:首先,PROs 制定表示销售产品中被回收比率的回收率 c ,表示被回收的产品可以再利用率^[25]的再利用率 r ,以及回收处理补贴 d ;其次,考虑回收、处理成本之后,制造商确定其销量和价格;然后,每个处理商决定向制造商收取处理费用;最后,消费者购买再造产品,

其中 $c \geq 0, r \leq 1, d \geq 0$.

生产者责任组织(PROs) PROs 是非营利性质的组织,政府主导,由生产商、行业协会以及处理商等联合组成,监督生产商履行 WEEE 回收的责任和义务.通常按产品的类别而形成,以便集中精力实现其回收业务的最大效率.该组织对 EPR 原则成功实施起了非常关键的作用,特别是对中小企业来说,通过参加该组织可大大降低履行职责的难度和成本.且该组织在制造商、处理商、零售商、市政当局等其他利益群体间起到了良好的联系纽带作用^[12]. PROs 具体负责向制造商征收回收处理基金,设定回收处理标准,制定有效的产品 DfE 激励制度,加强消费者的对废弃物处理环保教育等.

消费者 作为重要的利益相关主体对回收条例的有效实施具有直接影响.消费者不仅关心环保,且承担因制造商调整与 WEEE 回收处理相关成本时,导致产品价格提高风险.为便于分析,假设消费者面临的反需求函数为 $p = 1 - q$,其中 q 为产品的总消费量.反映消费者剩余满足

$$\Pi_c = (1 - p)q/2 \quad (1)$$

制造商 其责任主要有二:一是“绿色”生产,必须达到最低 r ,采用有利于资源综合利用和无害化处理的设计方案,便于回收可利用的材料;二是自行或委托回收处理 WEEE,必须达到最低 c .制造商可通过两种方式来完成其 WEEE 管理责任^[5],即单独回收责任和集体回收责任.单独回收责任是指制造商自行建立回收系统或网络,只负责回收自己生产的废旧产品;集体回收责任则是针对某一行业所有制造商的产品,制造商通过缴纳一定的回收处理费用,通常由 PROs 组织回收处理.

假定市场上有两家完全相同制造商,两者进行 Cournot 博弈来获取各自市场份额(如图2),则有

$$p = 1 - \sum_{i=1}^2 q_i, i = 1, 2$$

式中, q_i 为制造商 M_i 的产品销量.

制造商须对自己生产的废旧品负责回收,然后决定是自行处理还是委托有资质的处理企业处理.假设制造商的单位生产成本为 μ , t 为回收处理 WEEE 的单位费用,且 $1 - \mu - tc > 0$. 当制造商

自行处理时,可得单位处理补贴 d .

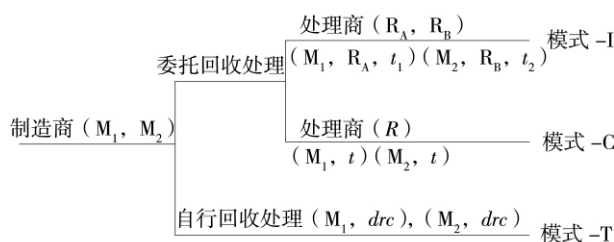


图2 两阶段序贯决策博弈

Fig. 2 Two-stage sequential decision-making game

处理商 在委托回收处理模式时(如图2),处理行业存在两种市场结构:单独回收的 Cournot 竞争和集体回收的垄断竞争.处理商通过博弈来确定处理费用.其中回收处理成本 η ^[26] 包括废旧产品的拆卸成本、再生成本、填埋成本及收集成本等支出.

为便于分析,本文不考虑回收处理的规模经济.假设处理单位可再利用产品获得收益为 e .在委托回收处理时,假设处理商向制造商收取单位处理费用为 t .为维持处理商存在,须确保处理商的利润 $t + er - \eta \geq 0$.令 $\rho = \eta - er$ 表示回收处理的净成本,一般 $\rho \geq 0$,这点可从试点项目的成本收益得到说明(见表1).

表1 试点项目正式回收处理成本、收益一览表

Table 1 Formal recycling costs and benefits of pilot projects

回收产品 目录	处理成本 ①		处理后 价值 ②	净处理成本 ③ (③ = ① - ②)
	回收成本	运输成本		
电视机	156	14.5	20	150.5
电冰箱	165	38.7	172	31.7
空调	308	30.8	100	238.8
洗衣机	115	19.3	40	94.3
电脑	150	47.3	200	-2.7

资料来源:根据文献[8]整理.

本文做进一步假设:

- 1) 处理商和回收商合并为处理商,即处理商负责回收和处理 WEEE;
- 2) 社会剩余(福利)具有线性可加性,即社会福利变量 $\langle SW \rangle$ 表示制造商的利润 + 处理商的利润 + 消费者剩余 + 环保收益 - 政府支出.

2 回收模式的分析和比较

目前国内外已有的 WEEE 回收处理模式主

要有两大类:一类是委托外包回收处理模式,这其中又可分为单独回收处理模式和集体回收处理模式;另外一类制造商内部化回收处理活动,即自行回收处理^[27](也即承担单独回收责任)。

2.1 委托回收处理

在该模式下,假设处理商为 Stackelberg 领导者,制造商为追随者。这是因为在欧洲 WEEE 回收目前的需求远远超过现有的回收能力,回收处理业还处于发展的新兴阶段,同时制造商必须达到 WEEE 指令规定的最低指标。例如,在德国只有 20 几家回收处理企业给 20 000 家制造商和进口商提供回收处理旧电脑及旧电器服务。同样,在荷兰,非营利组织 NVMP 通过 4 家回收处理商来处理 1 200 制造商的废旧产品,且每一家处理商都仅负责一个特定的产品类别^[28]。如图 2 所示,一方面,制造商在新产品消费市场上竞争,另一方面,处理商在废旧品市场上设定竞争性的回收处理费用。

2.1.1 集体回收处理

如图 2 模式 C 所示,针对某一行业所有制造商的废旧品,PROs 通常按照行业平均处理成本向制造商收取处理基金。制造商 M_1, M_2 分别与 PROs 签订合同并支付处理费用 t^c ,然后 PROs 指定第 3 方处理商 R 回收处理并支付处理基金 t^c 。如荷兰、瑞典等国采用该模式。

此时,处理商和制造商的利润函数分别为

$$\Pi_R^c(t^c) = (t^c + er - \eta)c(\sum q_i), \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

$$\Pi_{M_i}^c(q_i) = q_i(p - u - t^c), \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

反向推导两阶段博弈,首先考虑第 2 阶段制造商 Cournot 博弈,在给定 t^c 时,制造商 M_1 从式 (3) 确定其产量 $q_1^c(q_2^c)$,具体反应函数满足

$$q_1^c(q_2^c) = \frac{1 - q_2^c - u - t^c}{2} \quad (4)$$

同理可得制造商 M_2 的反应函数。将两者合并求解方程组,可得 Nash 均衡产量解

$$q_i^c(t^c) = \frac{1 - u - t^c}{3}, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

将式 (5) 代入第 1 阶段式 (2),处理商 R 进行寡头垄断博弈,可得

$$t^c = \frac{1 - u - cer + c\eta}{2c} \quad (6)$$

将 t^c 代入式 (5),可得均衡产量以及产品的市场价格

$$q_i^c = \frac{1}{6}(1 - u + cer - c\eta), \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

$$p^c = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}u - \frac{1}{3}cer + \frac{1}{3}c\eta \quad (8)$$

与此同时,可得该模式下的制造商的利润、处理商的利润、消费者剩余以及系统收益,其中系统收益 Π_s 定义为制造商利润、处理商利润和消费者剩余三者总和(见表 2)。

2.1.2 单独回收处理

如图 2 模式 I 所示,每个制造商自由地与单一的回收商签订独家合同,建立合作关系,此时 PROs 处于监督处理行为。德国和奥地利倾向于该模式。假设制造商 M_1 与处理商 R_A 签订回收处理合约,同时支付给处理商 R_A 单位回收处理费 t_1^1 ;制造商 M_2 与处理商 R_B 签订合同,并支付给处理商 R_B 单位回收处理费 t_2^1 。此时处理商的利润函数分别为

$$\Pi_A^1(t_1^1) = (t_1^1 + er - \eta)cq_1 \quad (9)$$

$$\Pi_B^1(t_2^1) = (t_2^1 + er - \eta)cq_2 \quad (10)$$

制造商的利润函数为

$$\Pi_{M_i}^1(q_i) = q_i(p - u - t_i^1), \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

反向求解两阶段博弈,首先考虑第 2 阶段制造商 Cournot 博弈,在给定单位回收处理费用 t_i^1 时,制造商 M_1 可以确定其产量 $q_1^1(q_2^1)$,则反应函数满足

$$q_1^1(q_2^1) = \frac{1 - q_2^1 - u - t_1^1}{2} \quad (12)$$

同理,可得制造商 M_2 的反应函数。将两者合并求解方程组,可得 Nash 均衡产量

$$q_1^1(t_1^1, t_2^1) = \frac{1 - u + t_2^1 - 2t_1^1}{3} \quad (13)$$

$$q_2^1(t_1^1, t_2^1) = \frac{1 - u + t_1^1 - 2t_2^1}{3} \quad (14)$$

将式 (13) 和 (14) 分别代入处理商利润函数式 (9) 和 (10) 进行 Cournot 博弈,可得处理费用的均衡解

$$t_i^1 = \frac{1 - u - 2cer + 2c\eta}{3c}, \quad i = 1, 2 \quad (15)$$

然后将处理费用代入式 (13)、(14),可得制造商的均衡产量和价格分别为

$$q_i^1 = \frac{2}{9}(1 - u + 2cer - c\eta) , i = 1, 2 \quad (16)$$

$$p^1 = \frac{5}{9} + \frac{4}{9}u - \frac{4}{9}cer + \frac{4}{9}c\eta \quad (17)$$

于是,可得该模式下的制造商的利润、处理商的利润、消费者剩余以及系统收益(见表 2)。

2.2 制造商自行回收处理

如图 2 所示,模式 T 是一种闭环供应链,既包括来自制造商的产品正向配送,又包括源于消费者的废旧品的逆向回收。该模式实际是将回收处理内部化、一体化,是制造商承担单独回收责任和履行回收条例方式。IBM 和 DELL 就采用该模式^[27]。既可利用第 3 方回收 WEEE,也可借助零售商“以旧换新”等方式回收。在该模式中,政府为激励制造商自行回收处理 WEEE,通常会给制造

商一定的单位回收处理补贴 d ,此时制造商的利润由 3 部分组成,即销售产品获取的利润、处理 WEEE 获得的收益以及获得补贴,具体利润函数为

$$\Pi_{M_i}^T = q_i(p - u + erc - \eta c + drc) , i = 1, 2 \quad (18)$$

此时制造商通过 Cournot 博弈,可得产品销量和价格的 Nash 均衡解

$$q_i^T = \frac{1}{3}(1 - u + cer - c\eta + drc) , i = 1, 2 \quad (19)$$

$$p^T = \frac{1}{3} + \frac{2}{3}u - \frac{2}{3}cer + \frac{2}{3}c\eta - \frac{2}{3}drc \quad (20)$$

与此同时,可得该模式下的制造商的利润、消费者剩余以及系统收益(见表 2)。

表 2 三种回收处理模式的最优值

Table 2 Optimal value of three take-back scheme

参数	模式 C	模式 I	模式 T
处理费用(t)	$\frac{1 - u - cer + c\eta}{2c}$	$\frac{1 - u - 2cer + 2c\eta}{3c}$	
产品价格(p)	$\frac{2}{3} + \frac{1}{3}u - \frac{1}{3}cer + \frac{1}{3}c\eta$	$\frac{5}{9} + \frac{4}{9}u - \frac{4}{9}cer + \frac{4}{9}c\eta$	$\frac{1}{3} + \frac{2}{3}u - \frac{2}{3}cer + \frac{2}{3}c\eta - \frac{2}{3}drc$
产品销量(q)	$\frac{1}{3}(1 - u + cer - c\eta)$	$\frac{4}{9}(1 - u + cer - c\eta)$	$\frac{2}{3}(1 - u + cer - c\eta + drc)$
制造商利润(Π_M)	$\frac{1}{18}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{8}{81}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{2}{9}(1 - u + cer - c\eta + drc)^2$
处理商利润(Π_R)	$\frac{1}{6}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{4}{27}(1 - u + cer - c\eta)^2$	
消费者剩余(Π_C)	$\frac{1}{18}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{8}{81}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{2}{9}(1 - u + cer - c\eta + drc)^2$
系统利润(Π_S)	$\frac{5}{18}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{28}{81}(1 - u + cer - c\eta)^2$	$\frac{4}{9}(1 - u + cer - c\eta + drc)^2$

比较表 2 中 3 种模式下的最优值,可得如下命题。

命题 1 $t^C > t_i^1$,即集体回收模式下的平均处理费用总是大于单独回收模式下的处理费用; $\Pi_R^C > \Pi_R^1 = \Pi_A^1 + \Pi_B^1$,表明处理商更倾向于集体回收模式。

垄断处理行业缺乏竞争,减少费用的动力不足,垄断处理商只有在规模经济因素足够高时,才会收取比较低的费用,即只有在完善的处理市场

上,才会降低回收/处理成本。从欧盟包装废弃物回收的历史经验也可说明这点^[2],当回收处理引入竞争时,明显地减少了回收处理成本。

命题 2 $p^C > p^1 > p^T$, $\Pi_C^T > \Pi_C^1 > \Pi_C^C$,即消费者更愿意在制造商自行回收处理模式下消费。

一般来说,制造商被征收的处理基金可从 3 个方面得到补偿:通过价格部分转移到消费者身上、回收处理中得到的收益、以及从政府处获得的补贴。从命题 2 可见,模式 T 下,处理基金对产品

的均衡价格影响较小,消费者对回收处理成本的分摊也比较少。

命题 3 $\Pi_{M_i}^T > \Pi_{M_i}^I > \Pi_{M_i}^C$, 即自行回收处理模式对制造商来说是最优的; $\min(\Pi_M^T, \Pi_M^I + \Pi_R^I) \geq (\Pi_M^C + \Pi_R^C)$, 表明单独回收责任会比集体回收责任对制造商回收废旧产品的激励效果更佳。

根据命题 3, 在现实中, 回收处理应更多地重视制造商参与的方式和所起的作用, 鼓励制造商参与其产品的回收处理。充分利用制造商的渠道优势, 鼓励零售商通过以旧换新、押金等方式回收废旧品^②。

命题 4 $\frac{\partial \Pi_M^C}{\partial r} < 0$, $\frac{\partial \Pi_M^I}{\partial r} < 0$ 且 $\frac{\partial \Pi_M^T}{\partial r} > \frac{\partial \Pi_R^I}{\partial r}$, 表明委托处理模式下, 制造商提高再利用率可以降低处理费用, 且单独回收责任较之集体回收责任激励更强; $0 < \frac{\partial \Pi_M^C}{\partial r} < \frac{\partial \Pi_M^I}{\partial r} < \frac{\partial \Pi_M^T}{\partial r}$ ($\frac{\partial \Pi_M^T}{\partial r} = \frac{2}{3} q^T c(d+e)$) 表明模式 T 激励制造商提高再利用率效果最好, 尤其当有政府补贴时。

命题 5 $\Pi_S^C < \Pi_S^I < \Pi_S^T$, 即回收系统收益最高的是模式 T, 其次为模式 I, 最次为模式 C。

从命题 1、2、3 可见, 消费者、处理商、制造商等利益相关主体对回收模式的偏好是不一致的, 调整所有利益相关者的激励几乎是不可能的。但是, 无论从废旧品回收激励(命题 3)还是产品设计激励(命题 4), 都表明模式 T 是最优的, 加之命题 5 的结论, PROs 首先应该选择模式 T, 即制造商自行回收处理模式, 其次为模式 I, 最次为模式 C。事实上模式 T, 制造商自行回收处理一体化、内部化, 减少了中间流通环节, 降低了企业交易成本, 提高了正向、逆向流通效率, 整体增加了社会福利。

3 回收条例的有效实施

PROs 选定最优回收处理模式 T 后, 使用回收率 c 、再利用率 r 和补贴 d 来约束和激励制造商回收处理行为, 以达到社会福利 $\langle SW \rangle$ 最大化, 平衡经济和环境的影响^[23-24]。社会福利除了上述外还应包括以下项目:

补贴支出 PROs 为激励制造商回收处理 WEEE, 给予制造商单位处理补贴 d , 则补贴支出总额为 $drc \sum q_i^T$ 。

环保收益(成本) 只有当企业明确将环保成本纳入其产品设计和生产时, 才算是环保设计。通常每单位产品当中都含有一些危害环境的“有害物质”。把这些物质给环境造成的影响或者处理这些物资的成本定义为环保成本 ε 。且假定该成本可货币化^[24]。对环境有害的部分, 包括没有回收的部分 $1-c$, 以及回收处理后不能利用的部分 $(1-r)c$, 因此环保收益为

$$\Pi_E = -\varepsilon(1-r)(\sum q_i^T) \quad (21)$$

因此, 最大化社会福利函数为

$$\begin{aligned} \max \langle SW \rangle(c, d) &= \Pi_M^T + \Pi_C^T + \Pi_E^T - drc \sum q_i^T \\ \text{s.t.} \quad &0 \leq c \leq 1, d \geq 0 \end{aligned} \quad (22)$$

因再利用率 r 跟生产技术密切相关, 因此, 本文假设 r 为外生变量, 且 $r=1$, 即完全再利用。令 $\rho = \eta - \varepsilon$, 可得命题 6。

命题 6 在 $\rho \geq (1-u)/3$ 情况下: 当 $\varepsilon \geq \rho$ 时, $c=1$, $d=(1-u-\rho)/2$; 当 $\frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \leq \varepsilon < \rho$ 时, $c = \frac{4\rho - 4u\rho - 3\varepsilon + 3\varepsilon u - 3\varepsilon\rho}{2\rho(2\rho - 3\varepsilon)}$, $d=0$ 。

在 $\rho < (1-u)/3$ 情况下: 当 $\varepsilon \geq \rho$ 时, $c=1$, $d=(1-u-\rho)/2$; 当 $\varepsilon < \rho$ 时, $c=0$, $d=0$ 。

证明 具体证明详见附录。

命题 6 表明, 回收水平的确定和回收产品目录的分类需综合考虑产品对环境的影响程度, 回收处理的成本/收益, 处理行业和制造行业的市场竞争结构等。有效的补贴只有在该产品对环境危害很大, 且要完全回收的时候才能奏效。补贴可补偿一部分回收处理成本, 但同时也会增加产出, 无形中也增加了污染物的排放。因此, 政府(PROs) 须从净处理成本 and 环境污染程度两个维度来权衡环保收益和社会利益(如图 3 所示)。

1) 自愿性回收 通常该种产品对环境污染较轻, 且回收处理成本也较小, 可通过制造商自律和消费者的环保驱动来设定回收再利用目标。没有法律规定必须遵守或没有达到回收再利用目标也

② 《循环经济法》第 46 条。

不受罚。如美国地毯复原工作等自愿回收项目^[2]。

2) 不完全回收 是指该产品对环境污染较轻,但回收处理成本较高,政府不予补贴,所以通过设定不完全回收目标来保护制造商和消费者的利益。诸如 WEEE 中的家电等产品。该类产品由于处理成本较高,对规模经济有一定的要求,制造商就有可能将回收处理活动外包给专业的处理商,尤其是中小制造商,即由模式 T 向模式 I 转化。

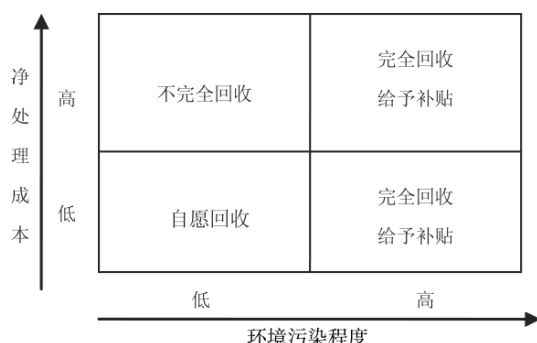


图3 回收处理的监督激励决策矩阵

Fig. 3 Supervision and stimulation decision matrix on recycling

3) 完全回收 该种产品对环境污染非常之大,不管处理成本多高,政府都要求完全回收,且给予一定的补贴。类似的产品有废油、废漆等。

4 结束语

本文结合现行回收条例,系统分析条例的元素和流程,分析比较3种不同的回收处理模式下的利益相关主体的经济行为,以回收激励、产品设计激励和系统收益等为标准确定最优的回收处理模式,综合环境成本因素和补贴支出,运用非线性规划求解最优的回收率和政府补贴,为产品回收目录分类、政府对处理行为的社会化监管与激励

提供理论依据。研究表明:

1) 制造商、处理商、消费者等利益相关主体对三种回收模式的偏好不一致,但从废旧品回收激励、产品设计激励、系统收益等视角都证明制造商自行回收处理模式是最优的。所以,最有效率的回收网络系统应该是围绕制造商单独回收责任展开,应充分利用制造商的渠道优势,鼓励零售商通过以旧换新、押金等方式回收废旧产品;

2) 回收水平的确定和回收产品目录的分类需要综合考虑产品对环境的影响程度,回收处理的成本/收益,处理行业和制造行业的市场竞争结构以及消费者对环保成本的接受程度等;

3) 政府必须权衡环保收益和社会利益。有效的补贴只有在该产品对环境危害很大,且要完全回收的时候才能奏效。而产品对环境污染较轻,可按回收处理净成本的大小,分别设定不完全回收目标和自愿性回收目标。

回收条例的有效实施值得进一步研究的问题包括以下4个方面: 1) 集体回收责任和单独回收责任并不完全对立,问题是如何将集体回收的成本-效益优势和单独回收的 DfE 激励长处有效地融合,比如日本的 SHAR 条例; 2) 如何利用 PROs 来协调回收条例所遇到的问题,比如在回收条例制定过程中会遇到多头管理如何协同问题,如环保部负责制定框架,财政部负责基金管理办法,发改委负责制定的产品目录; 3) 从制造商的角度来看是缺乏公正,他们担心搭便车的存在,如何确保制造商投资于生态环保设计的付出能够收回等公平问题,也就迫在眉睫; 4) 如何利用“家电下乡”、“以旧换新”解决农村地区的废旧家电回收处理等问题。回收条例的实施是个社会系统问题,任重而道远。

参考文献:

- [1]Thierry M, Salomon M, Van Nunen J, et al. Strategic issues in product recovery management[J]. California Management Review, 1995, 37(2): 114-135.
- [2]Savage M. Implementation of The Waste Electric and Electronic Equipment Directive in EU 25[R]. Institute for Prospective Technological Studies, 2006.
- [3]Walls M. Extended Producer Responsibility and Product Design: Economic Theory and Selected Case Studies[R]. RFF Discussion Paper No. 06-08, Resources for The Future, 2004.
- [4]Mayers C K, France C M, Powell S J. Extended producer responsibility for waste electronics: An example of printer recycling in the United Kingdom[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(3): 169-189.

- [5] Toffel M W. Closing the loop: Product take-back regulations and their strategic implications [J]. *International Journal of Corporate Sustainability*, 2003, 10(9): 161–172.
- [6] 吴 怡, 诸大建. 生产者责任延伸制的 SOP 模型及激励机制研究 [J]. *中国工业经济*, 2008, (3): 32–39.
Wu Yi, Zhu Dajian. Motivational mechanism of China's extended producer responsibility [J]. *China Industrial Economics*, 2008, (3): 32–39. (in Chinese)
- [7] 赵晓敏, 冯之浚, 黄培清. 闭环供应链管理——我国电子制造业应对欧盟 WEEE 指令的管理变革 [J]. *中国工业经济*, 2004, (8): 48–55.
Zhao Xiaomin, Feng Zhijun, Huang Peiqing. Closed-loop supply chain management—Managerial innovation on meeting WEEE EU Directive in our electronic industries [J]. *China Industrial Economics*, 2004, (8): 48–55. (in Chinese)
- [8] Yang J X, Lu B, Xu C. WEEE flow and mitigating measures in China [J]. *Waste Management*, 2008, 28(9): 1589–1597.
- [9] He W Z, Li G M, Ma X F, et al. WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 136(3): 502–512.
- [10] 蓝 英, 朱庆华. 基于利益相关者理论的废旧家电回收管理体系 [J]. *商业研究*, 2009, (5): 9–12.
Lan Ying, Zhu Qinghua. Waste electronic & electrical equipments management system based on the stakeholder theory [J]. *Commercial Research*, 2009, (5): 9–12. (in Chinese)
- [11] 王兆华, 尹建华. 我国家电企业电子废弃物回收行为影响因素及特征分析 [J]. *管理世界*, 2008, (4): 175–176.
Wang Zhaohua, Yin Jianhua. An analysis of the influences and characteristics of the behavior of electric waste reclaiming in China's household appliances industry [J]. *Management World*, 2008, (4): 175–176. (in Chinese)
- [12] Mayers C K. Strategic, financial, and design implications of extended producer responsibility in Europe: A producer case study [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(3): 113–131.
- [13] 李 健, 张吉辉. 废旧电脑逆向物流博弈及其成本—效益回收模型 [J]. *中国资源综合利用*, 2008, 26(4): 10–14.
Li Jian, Zhang Jihui. Reverse logistic game about obsolete computer and the cost-benefit recycling model [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2008, 26(4): 10–14. (in Chinese)
- [14] 张保银, 汪 波, 吴 煜. 基于循环经济模式的政府激励与监督问题 [J]. *中国管理科学*, 2006, 14(1): 136–141.
Zhang Baoyin, Wang Bo, Wu Yu. Incentive and monitor problems of government based on cycle economy pattern [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(1): 136–141. (in Chinese)
- [15] Mitra S, Webster S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies [J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 287–298.
- [16] 田 军, 冯耕中. 加强电子废弃物管理的政策制度研究 [J]. *中国软科学*, 2005, (12): 33–37.
Tian Jun, Feng Gengzhong. Study on the strategies & measures to reinforce waste electronics management [J]. *China Soft Science*, 2005, (12): 33–37. (in Chinese)
- [17] Savaskan R C, Bhattacharya S, Van Wassenhove L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239–252.
- [18] 黄祖庆, 达庆利. 直线型再制造供应链决策结构的效率分析 [J]. *管理科学学报*, 2006, 9(4): 51–56.
Huang Zuqing, Da Qingli. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2006, 9(4): 51–56. (in Chinese)
- [19] 易余胤. 具竞争零售商的再制造闭环供应链模型研究 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(6): 45–54.
Yi Yuyin. Closed-loop supply chain game models with product remanufacturing in a duopoly retailer channel [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(6): 45–54. (in Chinese)
- [20] Subramanian R, Gupta S, Talbot B. Product design and supply chain coordination under extended producer responsibility [J]. *Production and Operations Management*. 2009, 18(3): 259–277.
- [21] Atasu A, Subramanian R. Competition under Product Take-back Laws: Individual or Collective Systems? [R]. Georgia Institute of Technology, 2009.
- [22] Toyasaki F, Boyaci T, Verter V. An Analysis of Monopolistic and Competitive Take-back Schemes for WEEE Recycling [R]. McGill University, 2008.

- [23] Jacobs B, Subramanian R. The Impacts of Sharing Responsibility for Product Recovery Across the Supply Chain[R]. Georgia Institute of Technology, 2009.
- [24] Atasu A, Van Wassenhove L N, Sarvary M. Efficient take-back legislation [J]. Production and Operation Management, 2009, 18(3): 243–258.
- [25] Tojo N, Lindqvist T, Davis G. A. EPR programme implementation: institutional and structural factors[C]// Paris: Proceedings of OECD Seminar on Extended Producer Responsibility, EPR: EPR Programme Implementation and Assessment, 2001.
- [26] 谢家平, 陈荣秋. 产品回收处理逆向物流的成本-效益分析模型[J]. 中国流通经济, 2003, (1): 25–28.
Xie Jiaping, Chen Rongqiu. The cost-benefit analysis model of recovery processing in reverse logistics of assembly product [J]. China Business and Market, 2003, (1): 25–28. (in Chinese)
- [27] Toffel M W. The growing strategic importance of End-of-Life product management [J]. California Management Review, 2003, 45(3): 102–129.
- [28] Future Energy Solutions. Study into European WEEE schemes[R]. London: DTI 2003.

Effective implementation of WEEE take-back directive

Ji Guo-jun, HUANG Wei-wang

School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: In this paper, the elements and process of current Take-back Directive are analyzed, by using a two-stage sequential decision-making game model, the economic behavior of the main stakeholders under three different types of recycling patterns are presented; based on the objective of social welfare maximization, the take-back network, recycling targets setting, recovery catalogs sorting, supervision and stimulation of recycling patterns are discussed. The conclusions demonstrate that: manufacturers, recyclers and consumers do not always share the same preference over the three patterns, but the pattern of manufacture-leading recycling can reach maximum social welfare; the most efficient network system should be built on individual take-back responsibility around the manufacturer; the level of recovery and recycling catalogs must synthesize the factors including environmental impact of the product, recycling cost/benefit, and recycling and manufacturing industries' market structure; the supervision and stimulation decision matrix to the PROs (Producer Responsibility Organizations) is an effective tool to balance the environmental benefits and social welfare.

Key words: take-back directive; closed-loop supply chain; extended producer responsibility; two-stage sequential decision-making game

附录: 命题 6 证明

由

$$\max \langle TW \rangle(c, d) =$$

$$\Pi_M^T + \Pi_C^T + \Pi_E^T - dc \sum q_i^T,$$

$$\text{s. t. } 0 \leq c \leq 1, d \geq 0$$

将制造商的利润、消费者剩余以及环保收益和补贴支出代入目标函数, 令 $r = 1$, $\rho = \eta - er$, 可得全体福利函数 k

$$k = \frac{4}{9} [1 - u - (\rho - d)c]^2 - \frac{2}{3} \varepsilon (1 - c) \times$$

$$[1 - u - (\rho - d)c] - \frac{2}{3} dc [1 - u - (\rho - d)c],$$

$$\text{s. t. } c \geq 0, 1 \geq c, d \geq 0$$

当 $d = 0$ 时, 广义 Lagrange 函数为

$$L = \frac{4}{9} (1 - u - \rho c)^2 - \frac{2}{3} \varepsilon (1 - c) (1 - u - \rho c) + \lambda c + \beta (1 - c)$$

运用 KKT 条件可求得局部最优极值。考虑以下 3 种情形:

1) $c = 0 \Rightarrow \lambda \geq 0, \beta = 0$ 时可得, 当

$$\varepsilon \leq \frac{4}{3} \frac{(1 - u)\rho}{(1 - u + \rho)}, c = 0, d = 0$$

局部最优值为

$$k(1) = \frac{4}{9} (1 - u)^2 - \frac{2}{3} \varepsilon (1 - u)$$

(下转第 96 页)

point of service elements , objects , and application areas. The service resource management problems are also summarized , such as service description , service matching and discovery , service allocation , and service control. Furthermore , the lifetime of multi-sources information service , optimization and coordination for service process , guarantee of trustworthiness , and the architecture and key technologies are concluded later on. At last , according to the previous work and the current requirement from different areas , future research direction and application perspectives are suggested.

Key words: cloud computing; multi sources information service; service mode; resource management; process optimization; trust support

(上接第 9 页)

2) $c = 1 \Rightarrow \beta \geq 0, \lambda = 0$ 时可得 当

$$\varepsilon \geq \frac{4\rho}{3}, c = 1, d = 0$$

局部最优值为

$$k(2) = \frac{4}{9}(1-u-\rho)^2$$

3) $0 < c < 1 \Rightarrow \beta = 0, \lambda = 0$ 时可得 当

$$\frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \leq \varepsilon \leq \frac{4\rho}{3},$$

$$c = \frac{4(1-u) - 3\varepsilon(1-u+\rho)}{2\rho(2\rho-3\varepsilon)}, d = 0$$

局部最优值为

$$k(3) = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon^2(1-u-\rho)^2}{\rho(3\varepsilon-2\rho)}$$

当 $d > 0$ 时 , 广义 Lagrange 函数为

$$L' = \frac{4}{9}[1-u-(\rho-d)c]^2 - \frac{2}{3}\varepsilon(1-c) \times \\ [1-u-(\rho-d)c] - \frac{2}{3}dc[1-u-(\rho-d)c] + \\ \lambda c + \beta(1-c)$$

同理可得

4) $c = 0, d > 0$ 时该情况为退化解;

5) $c = 1, d > 0 \Rightarrow \beta \geq 0, \lambda = 0$ 时可得 , 当

$$\varepsilon \geq \rho, c = 1, d = \frac{1-u-\rho}{2}$$

局部最优值为

$$k(4) = \frac{1}{2}(1-u-\rho)^2$$

6) c 为内点 , $d > 0 \Rightarrow \beta = 0, \lambda = 0$ 时可得 $c =$

$$\frac{-1+u+\varepsilon}{\varepsilon-\rho}, d = \frac{\varepsilon(-1+u+\rho)}{-1+u+\varepsilon}$$
 但从全体福利函数 k 的

$$\text{Hessian 矩阵看} |H| = \frac{4}{9}(1-u-\varepsilon)^2 > 0 \text{ 不是极大值点.}$$

极值比较:

很明显 $k(4) > k(2)$, 因此局部极大值点可能在 $k(1) k(3) k(4)$ 中. 为了比较 3 者的大小 , 必须对讨论 ρ

和 $\frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)}$.

$$1) \rho \leq \frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \Rightarrow \rho \leq \frac{1-u}{3}$$

$$k(4) \geq k(3) \Rightarrow \frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \leq \varepsilon \quad \left. \vphantom{\frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \leq \varepsilon} \right\} \Rightarrow k(4)$$

$$k(4) \geq k(1) \Rightarrow \rho \leq \varepsilon \leq \frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)}$$

为全局最大值 , 且 $\rho \leq \varepsilon$; 当 $\rho > \varepsilon$ 时 , 则 $k(4) < k(1)$, $k(3)$ 不存在 , 所以 $k(1)$ 为全局最大值.

$$2) \rho > \frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \Rightarrow \rho > \frac{1-u}{3}$$

$k(4) \geq k(3) \Rightarrow \rho \leq \varepsilon$, 且 $k(1)$ 不存在 $\Rightarrow k(4)$ 为全局最大

值 , 且 $\rho \leq \varepsilon$; 当 $\frac{4}{3} \frac{(1-u)\rho}{(1-u+\rho)} \leq \rho < \varepsilon$ 时 , 很明显 $k(3)$

为全局最大值.

综上所述 , 可得命题 6.

证毕.